Economic Analysis

Research Paper Series

The Sources of Growth of the Canadian Business Sector's CO_2 Emissions, 1990-1996

by Kaïs Dachraoui, Gerry Gravel, Tarek M. Harchaoui and Joe St. Lawrence

No. 015

Statistics Canada Statistique Canada

Canada

ECONOMIC ANALYSIS RESEARCH PAPER SERIES

The Economic Analysis Research Paper Series provides for the circulation of research conducted by the staff of National Accounts and Analytical Studies, visiting Fellows and academic associates. The research paper series is meant to stimulate discussion on a range of topics including the impact of the New Economy, productivity issues, firm profitability, technology usage, the effect of financing on firm growth, depreciation functions, the use of satellite accounts, savings rates, leasing, firm dynamics, hedonic estimations, diversification patterns, investment patterns, the differences in the performance of small and large, or domestic and multinational firms, and purchasing power parity estimates. Readers of the series are encouraged to contact the authors with comments, criticisms and suggestions.

The primary distribution medium for the papers is the Internet. These papers can be downloaded from the Internet at www.statcan.ca for free. Papers in the series are distributed to Statistics Canada Regional Offices and provincial statistical focal points.

All papers in the Economic Analysis Series go through institutional and peer review to ensure that they conform to Statistics Canada's mandate as a government statistical agency and adhere to generally accepted standards of good professional practice.

The papers in the series often include results derived from multivariate analysis or other statistical techniques. It should be recognized that the results of these analyses are subject to uncertainty in the reported estimates.

The level of uncertainty will depend on several factors: the nature of the functional form used in the multivariate analysis; the type of econometric technique employed; the appropriateness of the statistical assumptions embedded in the model or technique; the comprehensiveness of the variables included in the analysis; and the accuracy of the data that are utilized. The peer group review process is meant to ensure that the papers in the series have followed accepted standards to minimize problems in each of these areas.

Publications Review Committee
Analytical Studies Branch, Statistics Canada
18th Floor, R.H. Coats Building
Ottawa, Ontario, K1A 0T6
Telephone: (613) 951-1804

103-07439/

The Sources of Growth of the Canadian Business Sector's CO_2 Emissions, 1990-1996*

by

Kaïs Dachraoui
Gerry Gravel
Tarek M. Harchaoui*
Joe St. Lawrence

11F0027 No. 015
ISSN: 1703-0404
ISBN: 0-662-34553-3

Micro-Economic Analysis Division
18-B R.H. Coats Building
Ottawa, K1A 0T6
Statistics Canada
Facsimile Number: (613) 951-3292
* (613) 951-9856
Email: harctar@statcan.ca

September 2003

The authors' names are listed alphabetically.

The opinions expressed herein are those of the authors and do not necessarily reflect the opinions of Statistics Canada.

Aussi disponible en français

---

* An earlier draft was presented at the 14th Input-Output Conference in Montreal, October 2002. We are grateful to Pierre Mercier for superb assistance in the production of this study. We also thank John Baldwin, two anonymous reviewers and the participants at that conference for their comments and suggestions.

Table of Contents

ABSTRACT ..... **IV**

EXECUTIVE SUMMARY ..... **V**

I. INTRODUCTION **1**

II. ACCOUNTING FRAMEWORK **2**

III. THE DATA SOURCES AND DESCRIPTIVE ANALYSIS **5**

IV. ANALYSIS OF THE RESULTS **6**

V. CONCLUSION **12**

REFERENCES **13**

Abstract

This paper examines the pattern of CO_2 emissions per unit of output (or eco-efficiency) between 1990 and 1996, decomposing the changes into an energy intensity effect, an energy mix effect and a carbon content effect. Our contribution constitutes a case study of the relative importance of these factors for a country on the downward-sloping portion of its CO_2 emission-output trajectories. Overall, our results indicate that the combination of the energy intensity and the substitution effect contributed to the decline in CO_2 emissions per unit of output. While the substitution effect was emissions reducing, it was not by itself sufficient to generate a major downward-sloping emission-output trajectory. Reductions in energy intensity typically played a substantially larger role than did the substitution effect in decreasing emissions. The carbon content effect made a positive, albeit small, contribution to the growth of CO_2 emissions per unit of output.

Keywords: Eco-efficiency, CO_2 emissions, energy intensity, economic growth

Executive Summary

A growing body of cross-country evidence suggests that 'inverted-U' relationships exist between GDP and some types of pollution. That is, while pollution may initially increase with development, there may also be a critical level of income beyond which emissions of some types of pollution decline.

The inverted-U hypothesis has generated considerable controversy, perhaps in part because so little is known regarding the factors underlying environmental development trajectories. This paper examines the factors driving the changes in Canadian CO_2 emissions over the 1990 to 1996 period.

The analytical framework rests on the decomposition of the index of CO_2 emissions per unit of output (or eco-efficiency) for the 16 largest industries producing these emissions in the business sector into: an energy intensity effect, an energy mix effect and carbon content effect.

In 1996, the Canadian business sector produced 350 million tons of CO_2 emissions, up from 326 million tons in 1990. The 16 Canadian business sector industries retained for the study accounted for 92% of CO_2 emissions on average between 1990 and 1996.

Our analysis produces four main results. First, the reduction in energy intensity significantly contributed towards the reduction in CO_2 emissions per unit of output. This finding provides some support for the hypothesis that the increase in relative energy prices played an important role in the reduction of the importance of energy per unit of output produced. Second, the energy mix or substitution effect, although contributing to the downturn of the CO_2 emissions to output ratio, played a more modest role in comparison to the energy intensity effect. Third, the contribution of the carbon content effect is negligible. Fourth, the cross-industry difference in CO_2 emissions per unit of output is due mainly to the variation in energy intensity.

I. Introduction

A growing body of cross-country evidence suggests that 'inverted-U' relationships exist between GDP and some types of pollution (see Forrest, 1995 for an overview of this literature and the policy debate it has sparked). That is, while pollution may initially increase with development, there may also be a critical level of income beyond which emissions of some types of pollution decline. Because this pattern resembles the time series of income inequality described by Kuznets, (1955), the environmental pattern has been labelled the 'environmental Kuznets curve' (EKC).

Far from being a threat to the environment in the long-term, as argued in *The Limits to Growth* and *Beyond the Limits* by Meadows *et al.* (1972, 1992) among others, if the EKC is true, economic growth would be necessary in order for environmental quality to be maintained or improved. This is an essential part of the sustainable development argument as put forward in *Our Common Future* by the World Commission on Environment and Development (1987).

The EKC theme was also promoted by the World Bank's *World Development Report 1992* (IBRD 1992). The authors noted that: *'The view that greater economic activity inevitably hurts the environment is based on static assumptions about technology, tastes and environmental investments'* (p 38) and that *'As incomes rise, the demand for improvements in environmental quality will increase, as will the resources available for investment'* (p 39). Some have expounded this position even more forcefully: *'there is clear evidence that, although economic growth usually leads to environmental degradation in the early stages of the process, in the end the best - and probably the only - way to attain a decent environment in most countries is to become rich.'* (Beckerman, 1992).

The inverted-U hypothesis has generated considerable controversy—perhaps in part because so little is known regarding the factors underlying environmental development trajectories. This paper examines the factors driving the changes in Canadian CO_2 emissions—thereby providing a case study of the Canadian experience.[1]

While identifying the ultimate sources of the emissions trajectories is a task that is probably beyond the scope of any project, we believe that much can be learned from detailed analysis of the growth of the economic activity, the intensity of energy use, the energy mix and emissions. In this paper, we examine Canadian CO_2 emissions per unit of output (or eco-efficiency) between 1990 and 1996 and decompose the changes into an energy intensity effect, an energy mix effect and a carbon content effect. Our results provide a case study of the relative importance of these effects for a country on the downward-sloping portion of its CO_2 emission-output trajectories for the pollutant examined. Explaining the CO_2 emissions per unit of output trend is also important as it constitutes an important source of multifactor productivity gain when CO_2 emissions are treated as a bad output as shown by Harchaoui *et al.* (2002).

---

[1] Our focus in this analysis will be on CO_2 emissions in part because of their importance in total emissions (78% in total).

Our analysis produces four main results: First, the reduction in energy intensity contributed more towards the reduction in CO_2 emissions per unit of output than did the substitution effect. Second, the substitution effect, although contributing to the downturn of the CO_2 emissions to output ratio, played a more modest role in comparison to the energy intensity effect. Third, the carbon content effect made a positive, albeit small, contribution to the growth of CO_2 emissions per unit of output. Fourth, there is a great deal of variation across industries in terms of CO_2 emissions per unit of output, largely due to differences in energy intensity from one industry to another.

The remainder of the paper is organized as follows: the analytical framework is presented in the next section. The data sources along with some trend analysis are presented in Section III. Section IV presents the sources of growth of the CO_2 emissions. Concluding remarks are drawn in the last section.

II. Accounting Framework

The approach applied for decomposing changes in the business sector's CO_2 emissions into distinct effects of specific factors relies on a series of simple algebraic calculations.

The CO_2 emissions of a given industry i in year t are estimated by multiplying its consumption of each fuel j by the relevant carbon content (or emission) factor (f_{ijt}). The carbon content factors quantify the average mass of CO_2 released by one joule of fuel burned. They can vary between industries and over time. Fuel consumption is measured in terms of the volume of energy (E_{ijt}).

CO_2 emissions (G_{ijt}) produced by the industry i in year t as a result of the energy consumption of type j (E_{ijt}) and the carbon content factor of fuel j (f_{ijt}) are then derived from the identity

$$G_{ijt} = f_{ijt} E_{ijt},$$

which can be rewritten as

$$G_{ijt} = f_{ijt} s_{ijt} e_{it} Q_{it}, \qquad (1)$$

where

Q_{it} = The gross output of industry i in constant prices;

$s_{ijt} \equiv \left(\frac{E_{ijt}}{E_{it}}\right)$ = The energy consumption share of fuel type j in the total energy consumption of the industry i;

$e_{it} \equiv \left(\frac{E_{it}}{Q_{it}}\right)$ = The energy intensity (energy consumption per unit of output in constant prices).

CO_2 emissions based on the aggregate energy consumption of the industry i in year t are defined as

$$\begin{aligned} G_{it} &\equiv \sum_{j=1}^{J} G_{ijt} \\ &= e_{it} Q_{it} \sum_{j=1}^{J} f_{ijt} s_{ijt}. \end{aligned} \tag{2}$$

Taking the derivative of (2) with respect to time, we get:

$$\frac{\partial G_{it}}{\partial t} = \sum_j \left(\frac{\partial f_{ijt}}{\partial t} s_{ijt} e_{it} Q_{it} + \frac{\partial s_{ijt}}{\partial t} f_{ijt} e_{it} Q_{it} + \frac{\partial e_{it}}{\partial t} f_{ijt} s_{ijt} Q_{it} + \frac{\partial Q_{it}}{\partial t} f_{ijt} s_{ijt} e_{it} \right). \tag{3}$$

Multiplying (3) by $G_{it} w_{ijt}$ where $w_{ijt} \left(\equiv \frac{G_{ijt}}{G_{it}} \right)$ is the CO_2 emission share of fuel type j within the industry i, we get

$$\begin{aligned} \frac{\partial G_{it}}{\partial t} &= \sum_j \left(\frac{\left(\frac{\partial f_{ijt}}{\partial t} \right)}{f_{ijt}} + \frac{\left(\frac{\partial s_{ijt}}{\partial t} \right)}{s_{ijt}} + \frac{\left(\frac{\partial e_{it}}{\partial t} \right)}{e_{it}} + \frac{\left(\frac{\partial Q_{it}}{\partial t} \right)}{Q_{it}} \right) G_{it} w_{ijt} \\ &= \sum_j \left(\frac{\partial \ln f_{ijt}}{\partial t} + \frac{\partial \ln s_{ijt}}{\partial t} + \frac{\partial \ln e_{it}}{\partial t} + \frac{\partial \ln Q_{it}}{\partial t} \right) G_{it} w_{ijt}. \end{aligned} \tag{4}$$

Taking the integral of (4), we get for the continuous case:

$$\begin{aligned} \int_t^{t+1} \frac{\partial G_{it}}{\partial t} &\equiv \Delta G_{it} \\ &= \int_t^{t+1} \sum_j \frac{\partial \ln f_{ijt}}{\partial t} G_{it} w_{ijt} + \int_t^{t+1} \sum_j \frac{\partial \ln s_{ijt}}{\partial t} G_{it} w_{ijt} + \int_t^{t+1} \sum_j \frac{\partial \ln e_{it}}{\partial t} G_{it} w_{ijt} \\ &+ \int_t^{t+1} \sum_j \frac{\partial \ln Q_{it}}{\partial t} G_{it} w_{ijt}. \end{aligned} \tag{5}$$

Rewriting for the discrete case yields the approximation:

$$\frac{\Delta G_{it}}{\bar{G}_{it}} \approx \sum_j \bar{w}_{ijt} \left[\ln \left(\frac{f_{ijt+1}}{f_{ijt}} \right) + \ln \left(\frac{s_{ijt+1}}{s_{ijt}} \right) + \ln \left(\frac{e_{it+1}}{e_{it}} \right) + \ln \left(\frac{Q_{it+1}}{Q_{it}} \right) \right] \tag{6}$$

where

$$\begin{aligned} \frac{\Delta G_{it}}{\bar{G}_{it}} \approx & \sum_j \bar{w}_{ijt} \ell n \left(\frac{f_{ijt+1}}{f_{ijt}} \right) && \text{Carbon content effect} \\ & + \sum_j \bar{w}_{ijt} \ell n \left(\frac{s_{ijt+1}}{s_{ijt}} \right) && \text{Substitution effect} \\ & + \ell n \left(\frac{e_{it+1}}{e_{it}} \right) && \text{Energy intensity effect} \\ & + \ell n \left(\frac{Q_{it+1}}{Q_{it}} \right) && \text{Real output growth effect,} \end{aligned} \tag{7}$$

$$\text{where } \bar{G}_{it} \equiv \frac{(G_{it+1} + G_{it})}{2} \text{ and } \bar{w}_{ijt} \equiv \frac{(w_{ijt+1} + w_{ijt})}{2}.$$

Equation (7) has the following heuristic interpretation: the growth rate of CO_2 emissions of the industry i can be decomposed into four components, which are the weighted sum of growth rates. The weights are defined in terms of CO_2 emission shares that vary over time, thereby capturing the changes in the structure of the economy.

The carbon content factor (f_{ijt}) tells how much of the reduction in emitted CO_2 is due to the reduced energy content of fuel type. If the CO_2 content did not change from one year to the next, which is often assumed, then $\sum_j \bar{w}_{ijt} \ln\left(\frac{f_{ijt+1}}{f_{ijt}}\right)$ will be zero. The term $\ln\left(\frac{e_{it+1}}{e_{it}}\right)$ is the energy effectiveness effect, that is the reduction in CO_2 emissions that arise from the use of technology that saves energy. The substitution effect $\sum_j \bar{w}_{ijt} \ln\left(\frac{s_{ijt+1}}{s_{ijt}}\right)$ measures the substitution between different forms of energy as a result of different incentives, including changes in energy relative prices. Decreasing the share of oil (substituting to other less polluting sources of energy) reduces CO_2 emissions, and hence results in a negative substitution effect. Finally, the production term $\ln\left(\frac{Q_{it+1}}{Q_{it}}\right)$ captures the extent to which economic growth affects CO_2 emissions. For example, rapid economic growth is likely to generate an increase in CO_2 emissions.

Equation (1) can also be written as

$$g_{ijt} = f_{ijt} s_{ijt} e_{it},$$

where $g_{ijt} = \frac{G_{ijt}}{Q_{it}}$, which is the CO_2 emission of the industry i attributable to the energy form j per unit of output of the same industry. Hence, the aggregate CO_2 emission per unit of output for the industry i can then be written as

$$g_{it} = \frac{G_{it}}{Q_{it}} = \sum_j \frac{G_{ijt}}{Q_{it}} = \sum_j g_{ijt}.$$

The decomposition made earlier for CO_2 emissions growth rate can then be carried for CO_2 emissions per unit of output. Therefore, the growth rate of CO_2 emissions per unit of output is decomposable into the sum of three components: the carbon content effect, the substitution effect and the energy intensity effect.[2]

---

[2] More specifically, $\frac{\Delta g_{it}}{g_{it}} \approx \sum_j \bar{w}_{ijt} \ln\left(\frac{f_{ijt+1}}{f_{ijt}}\right) + \sum_j \bar{w}_{ijt} \ln\left(\frac{s_{ijt+1}}{s_{ijt}}\right) + \ln\left(\frac{e_{it+1}}{e_{it}}\right)$. Note also that whether the decomposition is expressed in terms of CO_2 emissions or in terms of CO2 emissions per unit of output, the weights $w_{ijt}\left(\equiv \frac{G_{ijt}}{G_{it}}\right)$ remain unchanged.

III. The Data Sources and Descriptive Analysis

The data used in this study are obtained from two different sources, both of which are organized around the accounting framework of Statistics Canada's Input-Output Tables: The Material and Energy Flow Accounts (MEFA) (see Statistics Canada 1997) and the Canadian Productivity Accounts. Using these data sources, we put together a dataset that comprises series on CO_2 emissions, energy consumption by type of commodity, the carbon content factor of each type of energy and real output for 47 industries of the Canadian business sector over the 1990-1996 period. The information by energy type was not readily available prior to 1990.

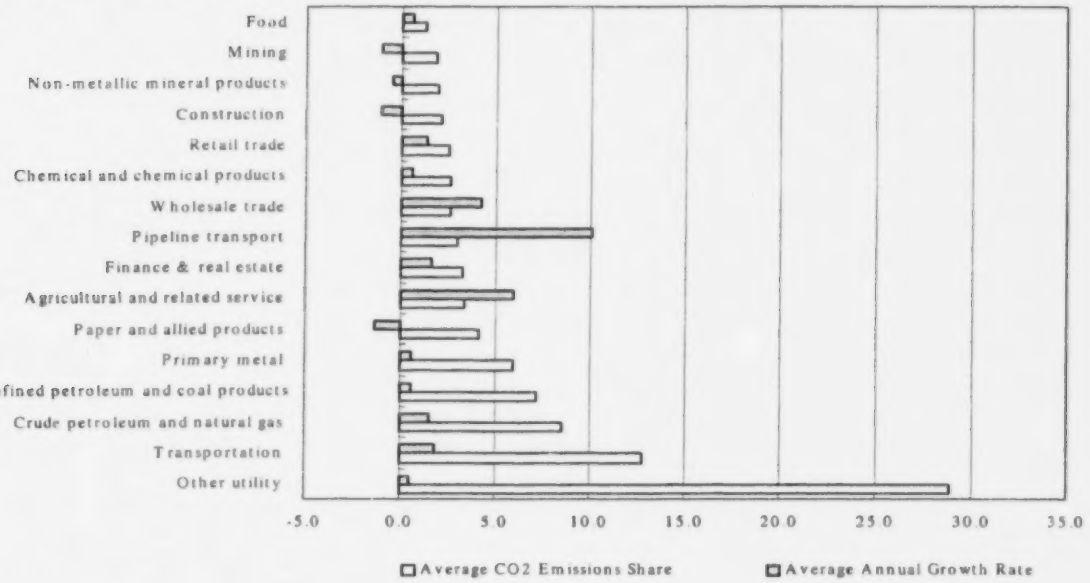
The MEFA records, in significant detail, the forms of energy consumed and the CO_2 emissions produced by various industries in Canada. These emissions data are obtained from the application of carbon content factors developed by Environment Canada to the MEFA energy consumption data. Eleven energy commodities are accounted for in the MEFA: coal, crude oil, natural gas, liquid petroleum gases, electricity, coke, motor gasoline, diesel fuel, aviation fuel, light fuel and heavy fuel oil. Emissions of CO_2 are primarily related to the combustion of fossil fuels (more than 90% of Canadian emissions result from this activity). The quantity of CO_2 produced per unit of fuel burned does not vary significantly with the conditions of combustion. In all processes where fossil fuels are burned, essentially all of the carbon found in the fuel is ultimately converted to CO_2. Emissions for each industry are calculated by fuel type, and published as an aggregate.

There are also non-combustible uses of fossil fuels that result in the release of CO_2. These are related to the use of fuels as feedstocks in certain industries, such as the refined petroleum products industry. The emission factors developed by Environment Canada for these sources are combined with MEFA data on feedstock energy commodity use to estimate the associated carbon dioxide emissions. Aside from fossil fuel-related sources, several industrial processes produce significant quantities of CO_2: Cement and lime production, ammoniac production and natural gas production. The CO_2 emissions associated with each of these non-fuel combustion sources are included in this study. However, the CO_2 emissions from the combustion of biomass (wood waste and fuel wood) are not part of our investigation. These are assumed to be offset by the natural uptake of carbon dioxide due to forest growth and, therefore, not to make a net contribution to Canadian emissions.

Industry output is measured as a Fisher chained index of real gross output. Gross output is equal to sales or receipts and other income, plus inventory change.

In 1996, the Canadian business sector produced 350 million tons of CO_2 emissions, up from 326 million tons in 1990. Out of the 47 industries of the Canadian business sector, sixteen of them, which maintained their share in terms of CO_2 emissions relatively constant over the period, generated the bulk of the 1.2% average annual growth rate of the business sector's CO_2 emissions (see Figure 1). The remainder of the empirical results will pay particular attention to these 16 industries, which accounted for 92% of CO_2 emissions on average between 1990-1996.

Figure 1. Pattern of CO_2 Emissions at the Industry Level, 1990-1996



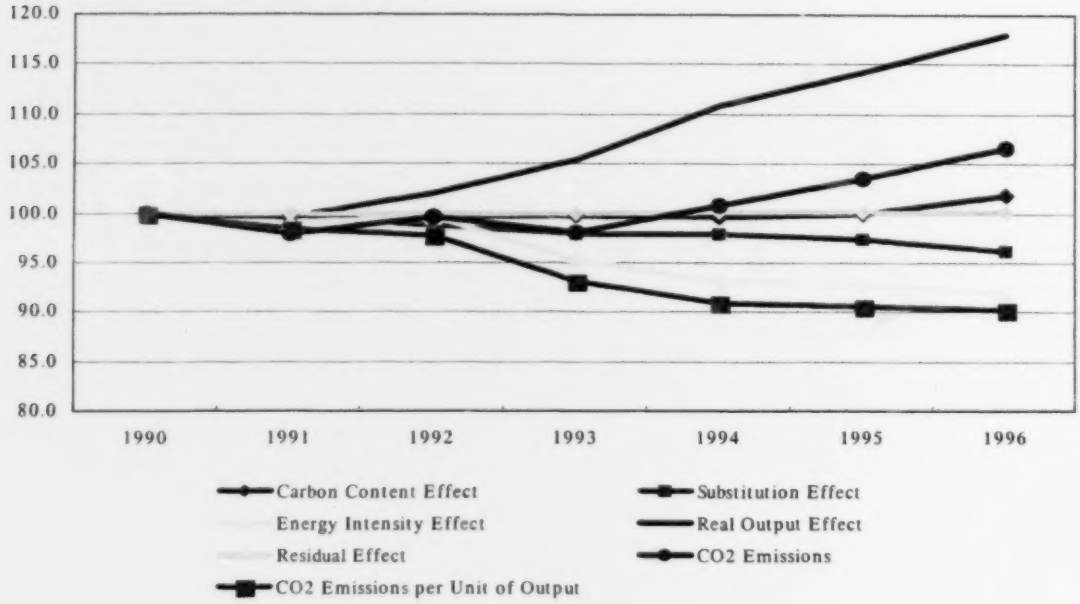
These 16 industries display a different pattern depending whether we analyse their behaviour in terms of growth or industry CO_2 emissions share. For example, although other utility industries accounted for 29% of the business sector CO_2 emissions, the growth rate of their CO_2 emissions increased at a modest 0.5% on average during the 1990-1996 period. At the other end of the spectrum, pipeline transport showed the highest growth of CO_2 emissions of the business sector (9.6%), but accounted for a modest 2.9% of total CO_2 emissions.

There are some regularities in the pattern of CO_2 emissions for the Canadian business sector: industries that account for the largest share of CO_2 emissions are those that displayed the most modest growth rate of CO_2 emissions during the 1990-1996 period. This is evidenced by the negative, albeit small, coefficient of correlation between the industry CO_2 share and their CO_2 growth rate for these 16 industries (-0.09). The negative relationship is, however, more striking for the five largest industries (-0.23).

IV. Analysis of the Results

This section quantifies the percentage points contribution of the substitution effect, the carbon content effect and the energy intensity effect to the growth of CO_2 emissions per unit of output for each of the 47 industries over the 1990-1996 period. Because our decomposition formula defined in (7) is based on a first order approximation, we expect to see a small approximation error appended to the factors that underlie the trend of CO_2 emissions or the CO_2 emissions per unit of output. The sources of growth of CO_2 emissions per unit of output obtained at the industry level are then aggregated to the level of the business sector using superlative index techniques which capture the structural changes that occurred during this time period.

Figure 2. Decomposition of CO_2 Emissions Growth for the 16 Largest Emitters, Canadian Business Sector (1990=100)



Recall that the decomposition formula defined in (7) holds for both the CO_2 emissions and the CO_2 emissions per unit of output, a type of partial eco-efficiency indicator. The results provided below examine the sources of growth for both of these variables.

Figure 2 shows the aggregate trends for CO_2 emissions and their underlying factors over the 1990-1996 period. The business sector CO_2 emissions grew at 1.2% per year on average. Had the trend in CO_2 emissions been driven exclusively by economic growth, CO_2 emissions would have posted a 2.8% average annual growth rate during this period. However, owing primarily to the decline in the energy intensity (-1.3%) combined with a substitution between different forms of fuel (-0.6%), the economic growth effect has been significantly mitigated.

There is a great deal of variation across industries in terms of the average growth of CO_2 emissions as indicated by Table 1. In agriculture and pipeline transport, the substitution effect and the energy effects jointly reinforced the economic growth effect, with the result that these industries report the fastest average growth rate of CO_2 emissions over 1990-1996. Wholesale trade is another industry where the CO_2 emissions growth rate was substantial (4.1% on average). In this instance, however, the economic growth effect drove all of the CO_2 emissions growth since the other effects cancel each other.

Table 1. Sources of CO_2 Emissions Per Unit of Output: 1990-1996

	Average industry share in total CO_2 emissions	Growth rate of CO_2 emissions (1)	Growth rate of real output (2)	Growth rate of CO_2 emissions per unit of output (1) *minus* (2)	Carbon content effect	Substitution effect	Energy intensity effect	Residual error
	Percentage				Percentage points contribution to CO_2 per unit of output growth			
Agricultural and related services	3.4	5.8	2.5	3.3	0.1	0.2	3.0	0.0
Mining	1.8	-1.0	0.0	-1.1	-0.1	0.3	-1.3	0.0
Crude petroleum and natural gas	8.5	1.6	5.5	-3.9	-0.9	-1.7	-1.3	0.0
Food	1.2	0.6	1.5	-0.9	-0.1	-1.0	0.3	-0.1
Paper and allied products	4.1	-1.4	2.4	-3.8	-0.1	-1.8	-1.9	0.0
Primary metal	5.9	0.6	3.7	-3.1	0.0	-1.4	-1.6	0.0
Non-metallic mineral products	1.9	-0.4	-0.8	0.4	-0.1	0.1	0.3	0.0
Refined petroleum and coal products	7.3	0.6	1.3	-0.7	3.7	0.3	-4.7	0.0
Chemical and chemical products	2.6	0.6	1.6	-1.1	-0.1	0.1	-1.0	0.0
Construction	2.1	-1.0	-2.2	1.2	0.4	0.2	0.7	-0.1
Transportation	12.8	1.8	2.5	-0.7	0.3	-0.2	-0.8	0.0
Pipeline transport	2.9	9.6	7.8	1.8	-0.1	0.2	1.7	0.0
Other utility	28.8	0.5	2.6	-2.1	0.1	-0.6	-1.6	0.0
Wholesale trade	2.6	4.1	4.4	-0.3	-0.2	-1.3	1.2	0.0
Retail trade	2.5	1.4	2.4	-1.1	-0.5	-0.1	-0.5	0.0
Finance and real estate	3.3	1.6	4.6	-3.0	2.8	-1.0	-4.8	0.0
Business Sector	**100.0**	**1.2**	**2.8**	**-1.7**	**0.3**	**-0.6**	**-1.3**	**0.0**

Note: Numbers may not add up due to rounding.

Transportation and crude petroleum and natural gas, two major producers of CO_2 emissions, experienced, respectively, a 1.8% and 1.6% average growth of CO_2 emissions. This moderate growth is the result of different contributions of the various underlying factors. In the case of crude petroleum and natural gas, the 5.5 percentage point contribution of the economic growth effect was significantly reduced by the combination of the other factors (-3.9 percentage points), amongst which the substitution effect contributed the most. Similarly, for transportation, the combination of the substitution effect and the energy intensity effect significantly reduced the economic growth effect.

Other utility industries recorded the slowest growth of CO_2 emissions amongst the largest producers of CO_2 emissions. This is the result of a -1.6 percentage point contribution of the energy intensity effect, followed by a -0.6 percentage point contribution of the substitution effect (corresponding to the average of the business sector).

Figures 3a to 3c, which use the data reported in Table 1, provide a cross-industry comparison of the sources of growth for CO_2 emissions per unit of output. Figure 3a shows the difference between the average annual growth rate of output and CO_2 emissions across industries over the 1990-1996 period. This difference can be considered as a partial productivity measure, an important source of multifactor productivity gain when CO_2 emissions are accounted as a bad output.

Over this period, the business sector experienced a 1.6% decrease in CO_2 emissions per unit of output. The majority of the industries reported this type of efficiency gain with the exception of pipeline transport and agriculture. These gains are particularly striking for the largest producers of CO_2, reaching -3.9% for crude petroleum and natural gas, -2.1% for other utility and a moderate -0.7% for transportation. These gains are primarily the result of two factors reinforcing each other: a drop in the energy intensity (Figure 3b) combined with the substitution towards sources of energy that are less intensive in terms of CO_2 emissions (Figure 3c).

Figure 3b plots the energy intensity of output across industries. Agriculture and pipeline transport industries, which experienced the fastest growth rate of CO_2 emissions per unit of output as indicated by Figure 3a (3.3% and 1.8% respectively), are also those that reported the highest growth of energy intensity (3% and 1.7% respectively). In contrast, the majority of other industries reported a decline in the energy intensity of their output. It appears that agriculture and pipeline transport were the only major CO_2 emitters that did not benefit from an energy saving technology.

Figure 3c, which reports the industry variation of the substitution effect, mirrors the pattern reported by the energy intensity of output (Figure 3b): the majority of industries reported major shifts from fuel types that are CO_2 intensive towards those less intensive in terms of CO_2 emissions. Agriculture and pipeline transport are the most notable exceptions. Figure 3d indicates that the carbon content factors contributed moderately to the reduction of the CO_2 per unit of output across industries compared to the energy intensity and the substitution effects.

Figure 3a. Growth of CO_2 emissions and output at the industry level, 1990-1996 (average annual growth rate in percentage)

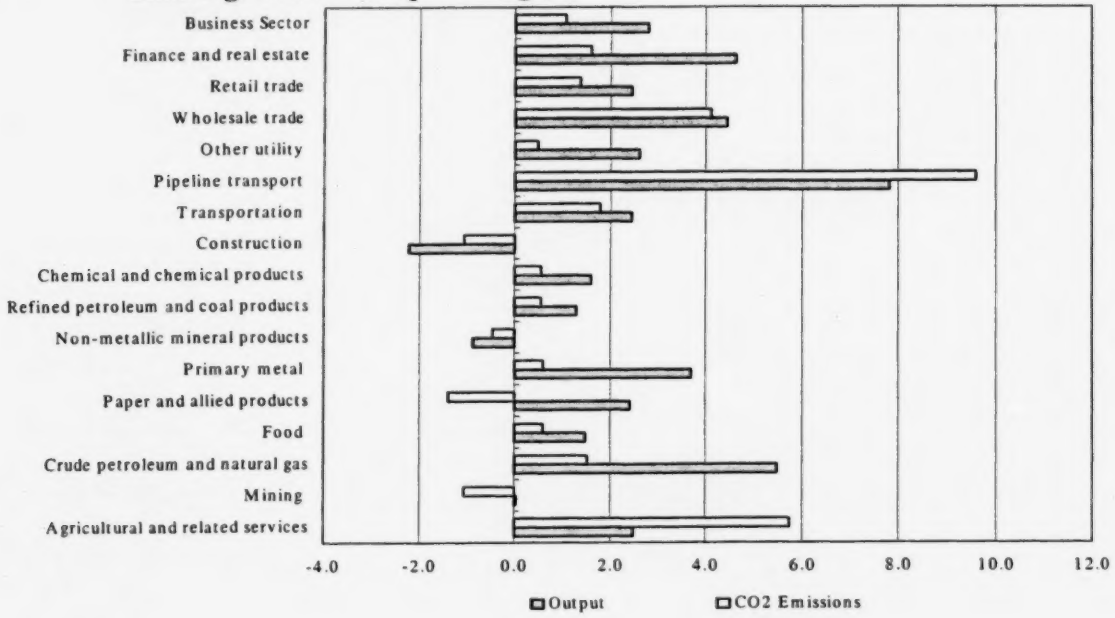


Figure 3b. Contribution of the energy intensity factor to the CO_2 emissions average annual growth rate at the industry level, 1990-1996 (percentage points)

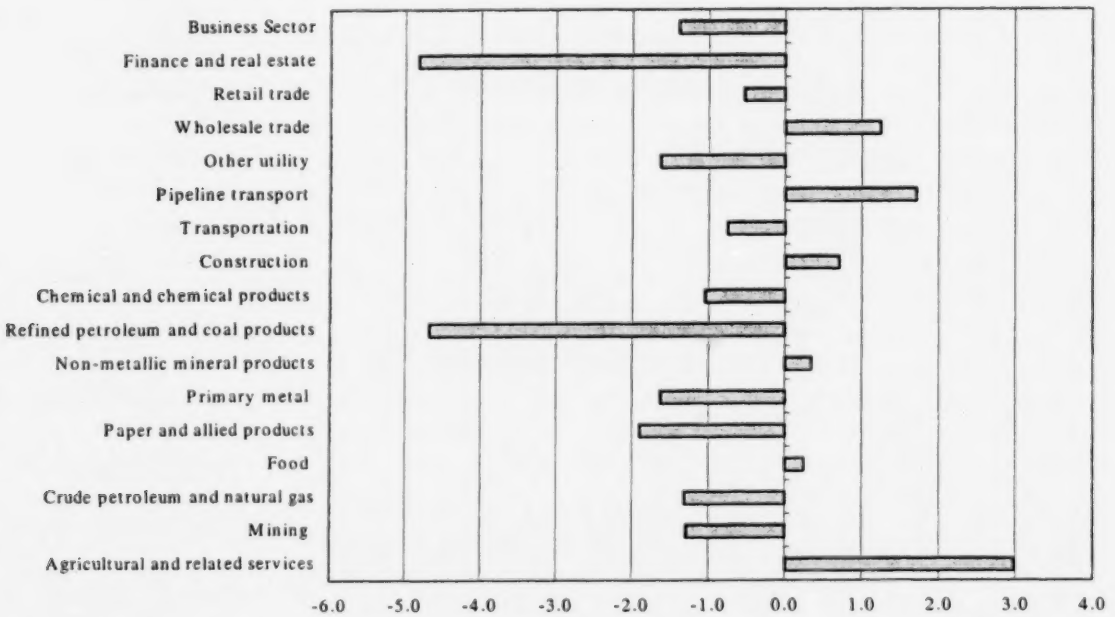


Figure 3c. Contribution of the substitution effect to the CO_2 emissions average annual growth rate at the industry level, 1990-1996 (percentage points)

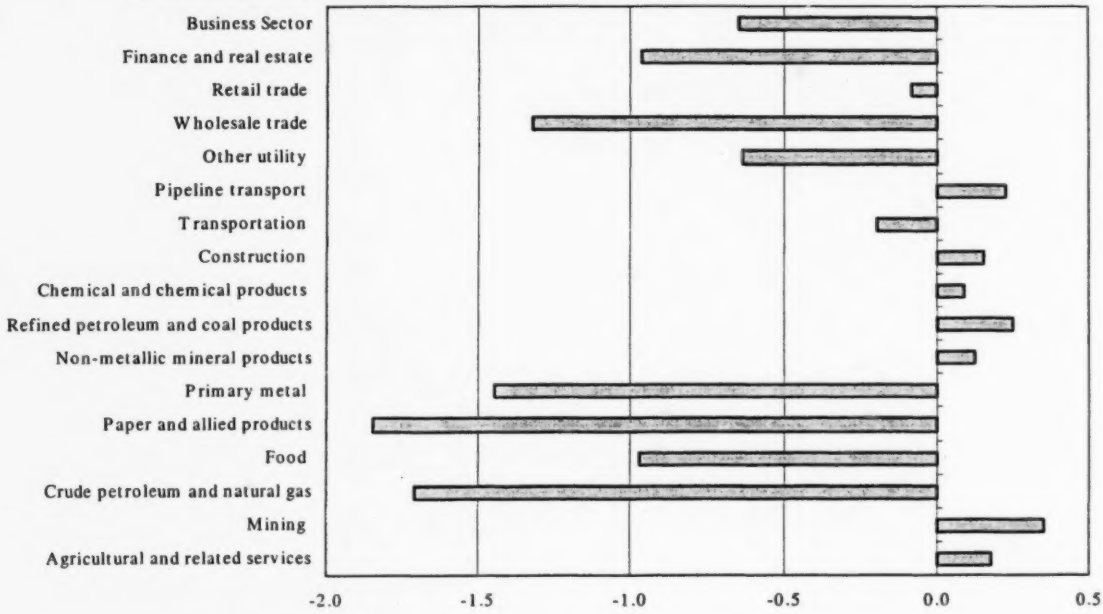
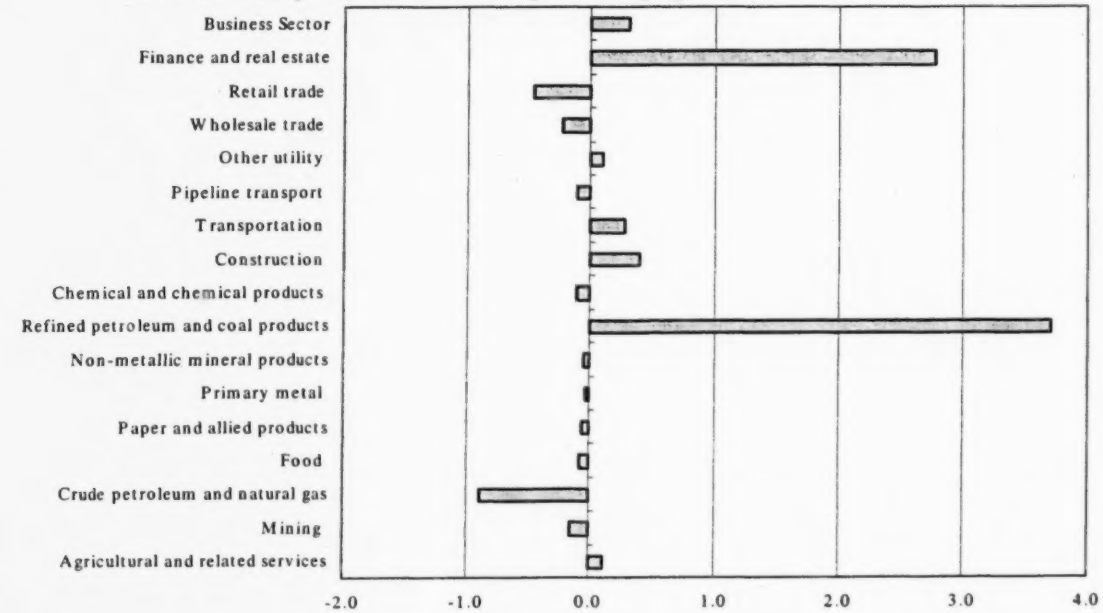


Figure 3d. Contribution of the emissions factor CO_2 emissions average annual growth rate at the industry level, 1990-1996 (percentage points)



V. Conclusion

In this paper we have decomposed the observed changes in the CO_2 emissions per unit of output and identified the effects of changes in the energy-output intensity, the substitution effect across different forms of energy and the carbon content of each form of energy. The objective is to offer insights into the trends at work in a country that appears to be on a downward-sloping portion of its CO_2 emissions-output trajectories.

The main contribution of this paper was to quantify which factors were large enough to offset the effects of overall economic growth on CO_2 emissions between 1990 and 1996. Several results emerged: First, the reduction in energy intensity significantly contributed towards the reduction in CO_2 emissions per unit of output. This finding provides some support for the hypothesis that the increase in relative energy prices played an important role in the reduction of the importance of energy per unit of output produced.[3] Second, the substitution effect, although contributing to the downturn of CO_2 emissions to output ratio, played a more modest role in comparison to the energy intensity effect. Third, with a 0.3 percentage point increase, the contribution of carbon content reinforces the economic growth effect rather than offsets it as does the energy intensity and the substitution effects. Fourth, the cross-industry difference in CO_2 emissions per unit of output is due mainly to the variation in the energy intensity.

[3] Between 1990-1996, energy relative prices increased 0.9% per year on average.

References

Beckerman W. 1992. 'Economic growth and the environment: Whose growth? Whose environment?' *World Development* 20: 481-496.

Forrest, A.S. 1995. *A Turning Point?* In The Environmental Forum. Washington D.C.: Environmental Law Institute.

Harchaoui, T.M., D. Kabrelyan, and R. Smith. 2002. *Accounting for Greenhouse Gases in the Standard Productivity Framework.* Economic Analysis Series 11F0027MIE2002007. Ottawa: Analytical Studies Branch, Ottawa: Statistics Canada.

IBRD, *World Development Report 1992: Development and the Environment* (New York, Oxford University Press).

Kuznets S. 1955. 'Economic growth and income inequality'. *American Economic Review* 49: 1-28.

Meadows D. H., D. L. Meadows, J. Randers. 1972. *Beyond the Limits: Global Collapse or a Sustainable Future.* Earthscan, London.

Meadows D. H., D. L. Meadows, J. Randers, and W. Behrens. 1992. *The Limits to Growth.* Universe Books, New York.

Statistics Canada 1997. *Econnections: Linking the Environment and the Economy, Concepts, Sources and Methods of the Canadian System of Environmental and Resource Accounts,* Catalogue No. 16-505-GPE.

World Commission on Environment and Development. 1987. *Our Common Future.* Oxford University Press, Oxford.

ECONOMIC ANALYSIS (EA)
RESEARCH PAPER SERIES

No. 001 *A Comparison of Canada-U.S. Economic Growth in the Information Age, 1981-2000: The Importance of Investment in Information and Communication Technologies,* ***Philip Armstrong, Tarek M. Harchaoui, Chris Jackson and Faouzi Tarkhani (March 1, 2002)***

No. 002 *Purchasing Power Parity: A Canada/U.S. Exploration,* ***Beiling Yan (May 2002)***

No. 003 *The Trend to Smaller Producers in Manufacturing: A Canada/U.S. Comparison,* ***John Baldwin, Ron S. Jarmin, Jianmin Tang (May 2002)***

No. 004 *Foreign Affiliate Trade Statistics – 1999: How Goods and Services are Delivered in International Markets,* ***Balance of Payments Division, Colleen Cardillo (April 2002)***

No. 005 *Regional Manufacturing Employment Volatility in Canada: The Effects of Specialization and Trade,* ***John Baldwin and W.Mark Brown (April 11, 2003)***

No. 006 *Growth History, Knowledge Intensity and Capital Structure in Small Firms,* ***G.Gellatly, S.Thornhill, A.Riding (August 6, 2003)***

No. 007 *Accounting for Greenhouse Gases in the Standard Productivity Framework,* ***Tarek Harchaoui, Dmitry Kabrelyan and Rob Smith (November 1, 2002)***

No. 008 *Overcoming Distance, Overcoming Borders: Comparing North American Regional Trade,* ***W.Mark Brown (April 16, 2003)***

No. 009 *Assessing the Impact of Greenhouse Gas Emissions on Canada's Productivity Growth, 1981-1996: An Expermental Approach,* ***Tarek M. Harchaoui and Pierre Lasserre (November 1, 2002)***

No. 010 *A Frontier Approach to Canada-U.S. Multifactor Productivity Performance,* ***Kaïs Dachraoui, Tarek M. Harchaoui (April 3, 2003)***

No. 011 *Participation in Export Markets and Productivity Performance in Canadian Manufacturing,* ***John R.Baldwin,k Wulong Gu (August 13, 2003)***

No.012 *Impact of Advanced Technology Use on Firm Performance in the Canadian Food Processing Sector,* ***John R.Baldwin, David Sabourin and David Smith (June 3, 2003)***

No.013 *Foreign Affiliate Trade Statistics – Canadian Operations Abroad, 1999 to 2001-* ***Balance of Payments Division, by Michael Marth (May 2003)***

No.014 *The Effect of Tariff Reductions on Firm Size and Firm Turnover in Canadian Manufacturing,* ***Wulong Gu, G.Sawchuk, L.Whewell (August 19, 2003)***

No.015 *The Sources of Growth of the Canadian Business Sector's CO2 Emissions, 1990-1996,* ***by Kaïs Dachraoui, Gerry Gravel, Tarek M. Harchaoui and Joe St. Lawrence (September 2003)***

No.016 *The Impact of Self-employment on Labour Productivity Growth: A Canada and United States Comparison,* ***John R. Baldwin, James Chowhan (August 21, 2003)***

Analyse économique

Documents de recherche

Les sources de la croissance des émissions de CO_2 du secteur canadien des entreprises, 1990 à 1996

par Kaïs Dachraoui, Gerry Gravel, Tarek M. Harchaoui et Joe St. Lawrence

N° 015

Statistics Canada Statistique Canada

Canada

SÉRIE DE DOCUMENTS DE RECHERCHE SUR L'ANALYSE ÉCONOMIQUE

La série de documents de recherche sur l'analyse économique permet de faire connaître les travaux de recherche effectués par le personnel du Secteur des études analytiques et des comptes nationaux, les boursiers invités et les universitaires associés. La série de documents de recherche a pour but de favoriser la discussion sur un éventail de sujets tels que les répercussions de la nouvelle économie, les questions de productivité, la rentabilité des entreprises, l'utilisation de la technologie, l'incidence du financement sur la croissance des entreprises, les fonctions de dépréciation, l'utilisation de comptes satellites, les taux d'épargne, le crédit-bail, la dynamique des entreprises, les estimations hédoniques, les tendances en matière de diversification et en matière d'investissements, les différences liées au rendement des petites et des grandes entreprises ou des entreprises nationales et multinationales ainsi que les estimations relatives à la parité du pouvoir d'achat. Les lecteurs de la série sont encouragés à communiquer avec les auteurs pour leur faire part de leurs commentaires, critiques et suggestions.

Les documents sont diffusés principalement au moyen d'Internet. Ils peuvent être téléchargés gratuitement sur Internet, à www.statcan.ca. Les documents faisant partie de la série sont diffusés dans les bureaux régionaux de Statistique Canada et aux coordonnateurs statistiques provinciaux.

Tous les documents de recherche de la Série d'analyse économique, passent à travers un processus d'évaluation des pairs et institutionnel, afin de s'assurer de leur conformité au mandat confié par le gouvernement à Statistique Canada en tant qu'agence statistique et de leur pleine adhésion à des normes de bonne pratique professionnelle, partagées par la majorité.

Les documents de cette série comprennent souvent des résultats issus d'analyses statistiques multivariées ou d'autres techniques statistiques. Il faut l'admettre, les conclusions de ces analyses sont sujettes à des incertitudes dans les estimations énoncées.

Le niveau d'incertitude dépendra de plusieurs facteurs : de la nature de la forme fonctionnelle de l'analyse multivariée utilisée; de la technique économétrique employée, de la pertinence des hypothèses statistiques sous-jacentes au modèle ou à la technique; de la représentativité des variables prises en compte dans l'analyse; et de la précision des données employées. Le processus de la revue des pairs vise à garantir que les articles dans les séries correspondent aux normes établies afin de minimiser les problèmes dans chacun de ces domaines.

Comité de révision des publications
Direction des études analytiques, Statistique Canada
18^{e} étage, Immeuble R.-H. Coats
Ottawa, Ontario, K1A 0T6
(613) 951-1804

Les sources de la croissance des émissions de CO_2 du secteur canadien des entreprises, 1990 à 1996*

par

Kaïs Dachraoui
Gerry Gravel
Tarek M. Harchaoui*
et
Joe St. Lawrence

11F0027 N° 015
ISSN : 1703-0412
ISBN : 0-662-89385-9

Division de l'analyse microéconomique
18-F, Immeuble R.-H.-Coats
Ottawa, K1A 0T6
Statistique Canada
Télécopieur : (613) 951-3292
* (613) 951-9856
Courriel : Tarek.Harchaoui@statcan.ca

septembre 2003

Le nom des auteurs est inscrit selon l'ordre alphabétique.

Les opinions exprimées dans le document sont celles des auteurs et ne reflètent pas forcément celles de Statistique Canada.

Also available in English

---

* Une version antérieure a été présentée à la 14e conférence sur les tableaux entrées-sorties qui a eu lieu à Montréal en octobre 2002. Nous exprimons notre gratitude à Pierre Mercier pour son assistance remarquable à la production de cette étude. Nous remercions aussi John Baldwin, deux examinateurs anonymes et les participants à la conférence pour leurs commentaires et suggestions.

Table des matières

RÉSUMÉ ..... **IV**

SOMMAIRE ..... **V**

I. INTRODUCTION **1**

II. CADRE COMPTABLE **2**

III. SOURCES DES DONNÉES ET ANALYSE DESCRIPTIVE **5**

IV. ANALYSE DES RÉSULTATS **7**

V. CONCLUSION **13**

BIBLIOGRAPHIE **14**

Résumé

Cette étude examine le profil des émissions de CO_2 par unité de production (ou éco-efficacité) du Canada entre 1990 et 1996 en décomposant les changements en un effet d'intensité énergétique, un effet de substitution entre différents produits énergétiques et un effet d'intensité carbonique. Notre contribution représente une étude de cas de l'importance relative de ces effets pour un pays qui se situe sur la partie descendante (pente négative) de la courbe d'émissions de CO_2 par unité de production. Dans l'ensemble, nos résultats indiquent que la combinaison des effets d'intensité énergétique et de substitution a contribué à la réduction des émissions de CO_2 par unité de production. L'effet de substitution a contribué à une réduction des émissions, mais n'a pas été suffisant pour engendrer, à lui seul, une courbe émissions-production fortement descendante. En général, la diminution de l'intensité énergétique de la production a joué un rôle considérablement plus important que l'effet de substitution dans la réduction des émissions. Enfin, l'effet d'intensité carbonique a contribué positivement, quoique faiblement, à la croissance des émissions de CO_2 par unité de production.

Mots clés : Éco-efficacité, émissions de CO_2, intensité énergétique, croissance économique

Sommaire

Un nombre croissant de preuves accumulées dans divers pays laisse entendre qu'il existe une relation « en forme de U inversé » entre le PIB et certaines formes de pollution. Selon cette hypothèse, la pollution augmenterait parallèlement au développement, mais il pourrait exister un niveau critique de revenus au-delà duquel les émissions de certains types de polluants diminuent.

L'hypothèse de la courbe en U inversé a suscité une vive controverse, peut-être en partie parce qu'on en sait si peu sur les facteurs qui sous-tendent les trajectoires de développement environnemental. Nous examinons ici les facteurs contribuant aux variations des émissions de CO_2 au Canada durant la période 1990 à 1996.

Le cadre analytique de l'analyse repose sur la décomposition des émissions de CO_2 par unité de production (ou éco-efficacité) pour les 16 plus importantes branches d'activité productrices de ces rejets du secteur des entreprises en termes : d'un effet d'intensité énergétique, d'un effet de substitution entre les produits énergétiques utilisés et d'un effet d'intensité carbonique.

En 1996, le secteur canadien des entreprises a produit 350 millions de tonnes d'émissions de CO_2, chiffre en hausse par rapport aux 326 millions de tonnes produites en 1990. Les 16 branches d'activité retenues dans notre analyse ont produit, en moyenne, 92 % des émissions de CO2 entre 1990 et 1996.

Nous dégageons quatre résultats importants. Premièrement, la diminution de l'intensité énergétique contribue significativement à la réduction des émissions de CO_2 par unité de production. Ce résultat appuie l'hypothèse selon laquelle la hausse des prix relatifs de l'énergie a joué un rôle important dans la réduction de l'intensité énergétique par unité de production. Deuxièmement, bien que l'effet de substitution, ou de composition énergétique, ait contribué à la réduction du rapport entre les émissions de CO_2 et la production, son rôle a été plus modéré que celui de l'effet d'intensité énergétique. Troisièmement, la contribution de l'effet d'intensité carbonique est négligeable. Quatrièmement, la variation des émissions de CO_2 par unité de production selon la branche d'activité est due principalement à la variation de l'intensité énergétique.

I. Introduction

Un nombre croissant de preuves accumulées dans divers pays laisse entendre qu'il existe une relation « en forme de U inversé » entre le PIB et certaines formes de pollution (voir Forrest, 1995 pour une revue des publications pertinentes et du débat d'orientation qu'elles ont suscité). Autrement dit, au départ, la pollution augmenterait parallèlement au développement, mais il pourrait exister un niveau critique de revenus au-delà duquel les émissions de certains types de polluants diminuent. Comme ce profil environnemental ressemble à celui de la série de données chronologiques sur l'inégalité du revenu décrite par Kuznets, (1955), on lui a donné le nom de « courbe environnementale de Kuznets » (CEK).

Loin de représenter une menace à long terme pour l'environnement, comme le soutiennent notamment Meadows et coll. (1972, 1992) dans *The Limits to Growth* et *Beyond the Limits*, si la CEK est vraie alors la croissance économique serait nécessaire au maintien ou à l'amélioration de la qualité de l'environnement. Il s'agit là d'un élément essentiel de l'argument en faveur du développement durable avancé par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (1987) dans son rapport intitulé *Notre avenir à tous*[1].

Le thème de la CEK a été repris dans le *Rapport sur le développement dans le monde de 1992* de la Banque mondiale (IBRD 1992). Les auteurs du rapport notent que : « l'opinion selon laquelle l'accroissement de l'activité économique est inévitablement nuisible à l'environnement est fondée sur des hypothèses statiques au sujet de la technologie, des goûts et de l'investissement environnemental » (p. 38) et qu'« à mesure que les revenus augmentent, la demande d'amélioration de la qualité de l'environnement augmentera, de même que les fonds disponibles pour l'investissement » (p. 39). Certains ont été encore plus catégoriques, soutenant que : « *il existe des preuves manifestes que, si la croissance économique cause habituellement une dégradation de l'environnement aux premières étapes du processus, en dernière analyse, devenir riche est le meilleur - et probablement le seul - moyen qu'ont la plupart des pays d'assurer la salubrité de leur environnement.* » (Beckerman, 1992).

L'hypothèse de la courbe en U inversé a suscité une vive controverse, peut-être en partie parce qu'on en sait si peu sur les facteurs qui sous-tendent les trajectoires de développement environnemental. Nous examinons ici les facteurs à l'origine des variations des émissions de CO_2 au Canada et, ce faisant, offrons une étude de cas de l'expérience canadienne[2].

Bien que déterminer les sources ultimes de l'évolution des émissions soit une tâche qui dépasse sans doute le cadre de tout projet, nous pensons que plusieurs enseignements peuvent être tirés de l'analyse détaillée de la croissance de l'activité économique, de l'intensité de l'utilisation de l'énergie, de l'évolution de la composition du panier de produits énergétiques et de celle des émissions. Dans la présente étude, nous examinons les émissions de CO_2 par unité de production (ou éco-efficacité) du Canada entre 1990 et 1996, et nous décomposons leur variation en un effet

---

1 Voir Éditions du Fleuve, Montréal, 1989 pour la version française.

2 La présente analyse se restreint aux émissions de CO_2 en partie à cause de leur importance (78 %) dans le total des émissions.

d'intensité énergétique, un effet de substitution entre les produits énergétiques et un effet d'intensité carbonique. Nos résultats constituent une étude de cas de l'importance relative de ces effets pour un pays situé dont la courbe des émissions de CO_2-production affiche une pente descendante pour ce polluant. Il importe aussi d'expliquer la tendance qui caractérise les émissions de CO_2 par unité de production, car si on les traite comme des produits indésirables, ces émissions représentent une source importante d'augmentation de la productivité multifactorielle, comme l'ont montré Harchaoui et coll. (2002).

De notre analyse on tire quatre résultats importants. Premièrement, la diminution de l'intensité énergétique contribue significativement à la réduction des émissions de CO_2 par unité de production. Deuxièmement, bien que cet effet de substitution contribue à la diminution du rapport entre les émissions de CO_2 et la production, son rôle a été plus modeste que celui de l'effet d'intensité énergétique. Troisièmement, l'effet d'intensité carbonique a contribué positivement, quoique faiblement, à la croissance des émissions de CO_2 par unité de production. Quatrièmement, les émissions de CO_2 par unité de production varient considérablement selon la branche d'activité, principalement parce que l'intensité énergétique ne varie pas uniformément d'une branche à l'autre.

Le reste du rapport est présenté comme suit : à la section suivante, nous décrivons le cadre analytique. À la section III, nous présentons les sources des données et certaines analyses de tendance. À la section IV, nous examinons les sources de la croissance des émissions de CO_2. Enfin, à la dernière section, nous présentons nos conclusions.

II. Cadre comptable

La méthode appliquée pour décomposer la variation des émissions de CO_2 du secteur des entreprises en effets distincts imputables à des facteurs particuliers s'appuie sur une série de calculs algébriques simples.

Nous estimons les émissions de CO_2 d'une branche d'activité donnée i durant l'année t en multipliant la consommation de chaque produit énergétique j par le facteur d'intensité carbonique (ou facteur d'émission) pertinent (f_{ijt}). Le facteur d'intensité carbonique quantifie la masse moyenne de CO_2 libérée par la combustion de la quantité de combustible servant à libérer un joule d'énergie. Sa valeur peut varier selon la branche d'activité et au cours du temps. Nous exprimons la consommation de produit énergétique en quantité d'énergie (E_{ijt}).

Puis, nous calculons les émissions de CO_2 (G_{ijt}) produites par la branche d'activité i durant l'année t en raison de la consommation d'énergie de type j (E_{ijt}) et du facteur d'intensité carbonique du produit énergétique j (f_{ijt}) d'après l'identité

$$G_{ijt} = f_{ijt} E_{ijt},$$

que nous pouvons réécrire sous la forme

$$G_{ijt} = f_{ijt} s_{ijt} e_{it} Q_{it}, \qquad (1)$$

où

Q_{it} = production brute de la branche d'activité i en prix constants;

$s_{ijt} \equiv \left(\frac{E_{ijt}}{E_{it}}\right)$ = part de la consommation totale d'énergie de la branche d'activité i imputable au produit énergétique de type j;

$e_{it} \equiv \left(\frac{E_{it}}{Q_{it}}\right)$ = intensité énergétique (consommation d'énergie par unité de production en prix constants).

En partant de la consommation agrégée d'énergie de la branche d'activité i durant l'année t, nous définissons les émissions de CO_2 comme étant

$$\begin{aligned} G_{it} &\equiv \sum_{j=1}^{J} G_{ijt} \\ &= e_{it} Q_{it} \sum_{j=1}^{J} f_{ijt} s_{ijt}. \end{aligned} \tag{2}$$

En dérivant l'équation (2) par rapport au temps, nous obtenons :

$$\frac{\partial G_{it}}{\partial t} = \sum_j \left(\frac{\partial f_{ijt}}{\partial t} s_{ijt} e_{it} Q_{it} + \frac{\partial s_{ijt}}{\partial t} f_{ijt} e_{it} Q_{it} + \frac{\partial e_{it}}{\partial t} f_{ijt} s_{ijt} Q_{it} + \frac{\partial Q_{it}}{\partial t} f_{ijt} s_{ijt} e_{it} \right). \tag{3}$$

En multipliant (3) par $G_{it} w_{ijt}$ où $w_{ijt} \left(\equiv \frac{G_{ijt}}{G_{it}} \right)$ représente la part des émissions de CO_2 imputables au produit énergétique de type j dans la branche d'activité i, nous obtenons :

$$\begin{aligned} \frac{\partial G_{it}}{\partial t} &= \sum_j \left(\frac{\left(\frac{\partial f_{ijt}}{\partial t}\right)}{f_{ijt}} + \frac{\left(\frac{\partial s_{ijt}}{\partial t}\right)}{s_{ijt}} + \frac{\left(\frac{\partial e_{it}}{\partial t}\right)}{e_{it}} + \frac{\left(\frac{\partial Q_{it}}{\partial t}\right)}{Q_{it}} \right) G_{it} w_{ijt} \\ &= \sum_j \left(\frac{\partial \ln f_{ijt}}{\partial t} + \frac{\partial \ln s_{ijt}}{\partial t} + \frac{\partial \ln e_{it}}{\partial t} + \frac{\partial \ln Q_{it}}{\partial t} \right) G_{it} w_{ijt}. \end{aligned} \tag{4}$$

En intégrant (4), nous obtenons le cas continu :

$$\begin{aligned} \int_t^{t+1} \frac{\partial G_{it}}{\partial t} &\equiv \Delta G_{it} \\ &= \int_t^{t+1} \sum_j \frac{\partial \ln f_{ijt}}{\partial t} G_{it} w_{ijt} + \int_t^{t+1} \sum_j \frac{\partial \ln s_{ijt}}{\partial t} G_{it} w_{ijt} + \int_t^{t+1} \sum_j \frac{\partial \ln e_{it}}{\partial t} G_{it} w_{ijt} \\ &+ \int_t^{t+1} \sum_j \frac{\partial \ln Q_{it}}{\partial t} G_{it} w_{ijt}. \end{aligned} \tag{5}$$

La réécriture de cette équation pour le cas discret donne l'approximation :

$$\frac{\Delta G_{it}}{\bar{G}_{it}} \approx \sum_j \bar{w}_{ijt} \left[\ln\left(\frac{f_{ijt+1}}{f_{ijt}}\right) + \ln\left(\frac{s_{ijt+1}}{s_{ijt}}\right) + \ln\left(\frac{e_{it+1}}{e_{it}}\right) + \ln\left(\frac{Q_{it+1}}{Q_{it}}\right) \right] \tag{6}$$

où

$$\frac{\Delta G_{it}}{\bar{G}_{it}} = \sum_j \bar{w}_{ijt} \ell n\left(\frac{f_{ijt+1}}{f_{ijt}}\right) \quad \text{Effet d'intensité carbonique}$$

$$+\sum_j \bar{w}_{ijt} \ell n\left(\frac{s_{ijt+1}}{s_{ijt}}\right) \quad \text{Effet de substitution} \qquad (7)$$

$$+\ell n\left(\frac{e_{it+1}}{e_{it}}\right) \quad \text{Effet d'intensité énergétique}$$

$$+\ell n\left(\frac{Q_{it+1}}{Q_{it}}\right) \quad \text{Effet de la croissance réelle de la production,}$$

$$\text{où } \bar{G}_{it} \equiv \frac{(G_{it+1} + G_{it})}{2} \text{ et } \bar{w}_{ijt} \equiv \frac{(w_{ijt+1} + w_{ijt})}{2}.$$

L'interprétation heuristique de l'équation (7) est la suivante : le taux de croissance des émissions de CO_2 de la branche d'activité i peut être ventilé en quatre composantes qui correspondent à la somme pondérée d'expressions qui sont elles-mêmes des taux de croissance. Les facteurs de pondération sont définis comme étant les parts des émissions de CO_2, qui varient en fonction du temps, donc reflètent l'évolution de la structure de l'économie.

Le facteur d'intensité carbonique (f_{ijt}) indique dans quelle mesure la réduction des émissions de CO_2 est liée à celle de l'intensité carbonique du type de produit énergétique utilisé. Si l'intensité carbonique ne variait pas d'une année à l'autre, comme on le suppose souvent, alors le terme $\sum_j \bar{w}_{ijt} \ln\left(\frac{f_{ijt+1}}{f_{ijt}}\right)$ serait nul. Le terme $\ln\left(\frac{e_{it+1}}{e_{it}}\right)$ représente l'effet d'efficacité énergétique, c'est-à-dire la réduction des émissions de CO_2 due à l'utilisation de technologies qui permettent d'économiser l'énergie. L'effet de substitution $\sum_j \bar{w}_{ijt} \ln\left(\frac{s_{ijt+1}}{s_{ijt}}\right)$ mesure le résultat de la substitution entre diverses formes d'énergie en réponse à divers incitatifs, y compris les variations des prix relatifs de l'énergie. La réduction de la part du pétrole (qui est remplacé par des produits énergétiques moins polluants) réduit les émissions de CO_2 et, donc, s'assortit d'un effet de substitution négatif. Enfin, le terme de production $\ln\left(\frac{Q_{it+1}}{Q_{it}}\right)$ reflète la mesure dans laquelle la croissance de l'économie influe sur les émissions de CO_2. Par exemple, une croissance économique rapide entraînera probablement une augmentation des émissions de CO_2.

Nous pouvons aussi écrire l'équation (1) sous la forme

$$g_{ijt} = f_{ijt} s_{ijt} e_{it},$$

où $g_{ijt} = \frac{G_{ijt}}{Q_{it}}$, c'est-à-dire les émissions de CO_2 par unité de production de la branche d'activité i attribuables au produit énergétique j. Par conséquent, nous pouvons écrire les émissions agrégées de CO_2 par unité de production de la branche d'activité i sous la forme

$$g_{it} = \frac{G_{it}}{Q_{it}} = \sum_j \frac{G_{ijt}}{Q_{it}} = \sum_j g_{ijt}.$$

Nous pouvons appliquer aux émissions de CO_2 par unité de production la ventilation décrite plus haut pour le taux de croissance de ces émissions. Par conséquent, le taux de croissance des émissions de CO_2 par unité de production peut être décomposé en la somme de trois composantes, à savoir l'effet d'intensité carbonique, l'effet de substitution et l'effet d'intensité énergétique[3].

III. Sources des données et analyse descriptive

Les données utilisées ici proviennent de deux sources distinctes qui s'articulent sur le cadre comptable des tableaux des entrées-sorties de Statistique Canada, à savoir les comptes de flux de matières et d'énergie (CFME) (voir Statistique Canada 1997) et les comptes de productivité du Canada. Nous avons créé, à partir de ces sources, un ensemble de données comprenant des séries sur les émissions de CO_2, la consommation d'énergie selon le type de bien ou de service, le facteur d'intensité carbonique de chaque produit énergétique et la production réelle pour 47 branches d'activité du secteur canadien des entreprises pour la période allant de 1990 à 1996. Les données selon le produit énergétique n'étaient pas disponibles pour les années antérieures à 1990.

Les CFME contiennent des renseignements détaillés sur les produits énergétiques consommés et sur les émissions de CO_2 produites par diverses branches d'activité au Canada. Les données sur les émissions sont obtenues par application des facteurs d'intensité carbonique établis par Environnement Canada aux données sur la consommation d'énergie des CFME. Ces derniers contiennent des données pour onze produits énergétiques, à savoir le charbon, le pétrole brut, le gaz naturel, les gaz de pétrole liquéfiés, l'électricité, le coke, l'essence à moteur, le carburant diesel, le carburant d'aviation, le mazout léger et le mazout lourd. Les émissions de CO_2 résultent principalement de l'utilisation de combustibles fossiles (plus de 90 % des émissions au Canada). La quantité de CO_2 produite par les différents combustibles utilisés ne varie pas significativement selon les conditions de combustion. Dans tous les procédés nécessitant la combustion de combustibles fossiles, essentiellement tout le carbone que contient le combustible est converti en CO_2. Le volume des émissions est calculé pour chaque branche d'activité et pour chacun des produits énergétiques, puis les résultats sont agrégés pour être publiés.

En outre, des utilisations de combustibles fossiles autres que la combustion donnent lieu à l'émission de CO_2, notamment l'utilisation de combustibles comme charge d'alimentation dans certaines branches d'activité, comme celle des produits raffinés du pétrole. Les facteurs

---

[3] Plus précisément, $\frac{\Delta g_{it}}{g_{it}} \approx \sum_j \bar{w}_{ijt} \ln\left(\frac{f_{ijt+1}}{f_{ijt}}\right) + \sum_j \bar{w}_{ijt} \ln\left(\frac{s_{ijt+1}}{s_{ijt}}\right) + \ln\left(\frac{e_{it+1}}{e_{it}}\right)$. Notons aussi que les poids $w_{ijt}\left(\equiv \frac{G_{ijt}}{G_{it}}\right)$ demeurent constants, que nous exprimions la décomposition en fonction des émissions de CO_2 ou en fonction des émissions de CO_2 par unité de production.

d'émission établis par Environnement Canada pour ces sources sont combinés aux données des CFME sur l'utilisation de produits énergétiques en tant que charges d'alimentation pour estimer les émissions connexes de CO_2. Outre les sources liées aux combustibles fossiles, plusieurs procédés industriels produisent des quantités importantes de CO_2 : la production de ciment et de chaux, la production d'ammoniaque et la production de gaz naturel. Ces facteurs associés aux sources d'utilisation de combustibles, autres que la combustion, sont pris en compte dans nos calculs des émissions de CO_2. Par contre les émissions de CO_2 produites par la combustion de la biomasse (déchets de bois et bois de feu) ne sont pas incluses. Nous supposons que l'absorption naturelle de dioxyde de carbone liée à la croissance des forêts compense ces émissions et que celles-ci ne contribuent donc pas aux émissions de CO_2 du Canada.

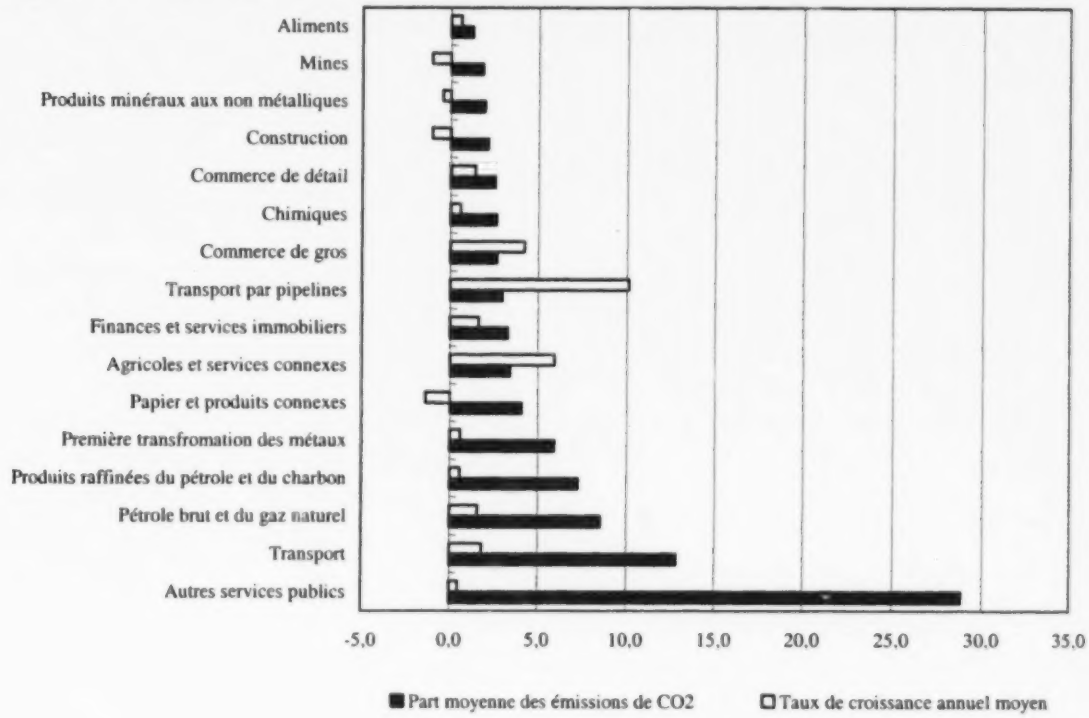
Nous mesurons la production à l'échelle de la branche d'activité au moyen d'un indice en chaîne de Fisher de la production brute. Cette production est égale à la somme des ventes ou des recettes et d'autres revenus ainsi que des variations de stock.

En 1996, le secteur canadien des entreprises a produit 350 millions de tonnes d'émissions de CO_2, chiffre en hausse par rapport aux 326 millions de tonnes produites en 1990. Parmi les 47 branches d'activité de ce secteur, seize ont maintenu leur part des émissions de CO_2 relativement constante durant la période et ont produit l'essentiel du taux de croissance annuel moyen de 1,2 % des émissions de CO_2 du secteur des entreprises (voir la figure 1). Les autres résultats empiriques que nous allons présenter porteront sur ces 16 branches d'activité, qui ont produit, en moyenne, 92 % des émissions de CO2 entre 1990 et 1996.

Le profil observé pour ces 16 branches d'activité varie selon que nous analysons leur comportement du point de vue de la croissance ou de la part imputable des émissions de CO_2. Ainsi, de 1990 à 1996, la branche des autres services publics a produit 29 % des émissions de CO_2 du secteur des entreprises, mais le taux de croissance moyen de ses émissions n'a été que de 0,5 %. À l'autre extrémité de l'échelle, la branche du transport par pipeline affichait le taux de croissance des émissions de CO_2 le plus élevé du secteur des entreprises (9,6 %), mais ne représentait que 2,9 % de l'ensemble des émissions de ce secteur.

Le profil des émissions de CO_2 du secteur canadien des entreprises présente certaines régularités. De 1990 à 1996, les branches d'activité auxquelles était imputable la part la plus importante des émissions de CO_2 étaient celles qui affichaient le taux de croissance de ces émissions le plus modeste. La valeur négative, quoique faible, du coefficient de corrélation entre la part des émissions de CO_2 et le taux de croissance de ces émissions observées pour ces 16 branches d'activité (-0,09) reflète cette situation. Néanmoins, les cinq branches d'activité les plus importantes sont celles pour lesquelles la relation négative est la plus frappante (-0,23).

Figure 1. Profil des émissions de CO_2 par branche d'activité, 1990 à 1996

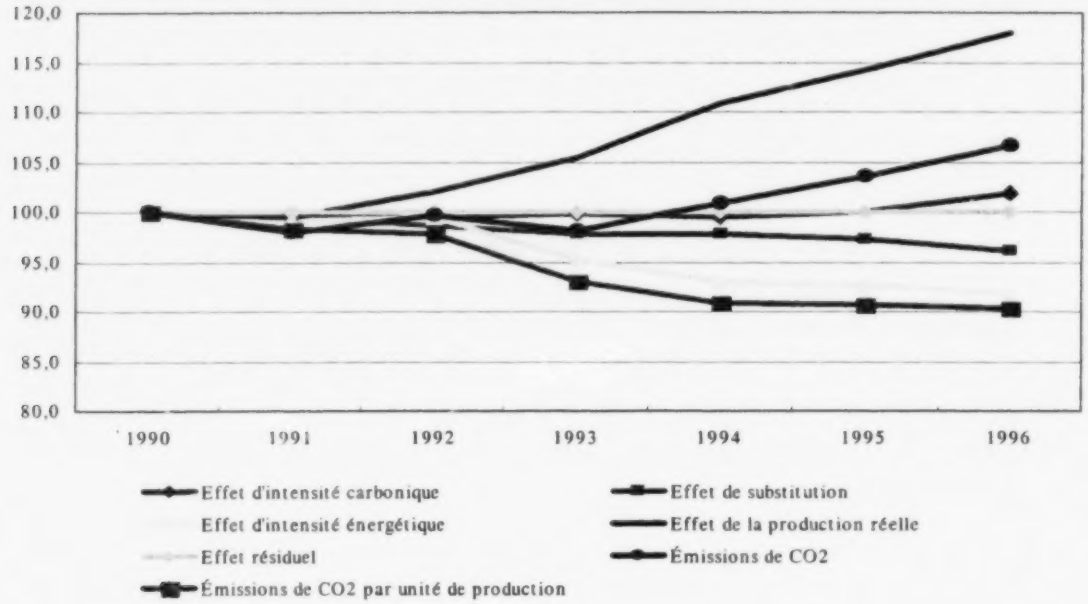


IV. Analyse des résultats

À la présente section, nous commençons par quantifier en points la contribution de l'effet de substitution, de l'effet d'intensité carbonique et de l'effet d'intensité énergétique à la croissance des émissions de CO_2 par unité de production pour chacune des 47 branches d'activité entre 1990 et 1996. Comme la formule de décomposition définie en (7) est fondée sur une approximation de premier ordre, nous nous attendons à ce que les facteurs qui sous-tendent la tendance des émissions de CO_2 ou celle des émissions de CO_2 par unité de production soient assortis d'une légère erreur d'approximation. Puis, nous établissons les sources de croissance des émissions de CO_2 par branche d'activité pour l'ensemble du secteur des entreprises à l'aide d'une méthode qui repose sur des indices superlatifs où l'on tient compte des changements structurels survenus durant la période à l'étude.

Rappelons que la formule de décomposition définie en (7) est valable tant pour les émissions de CO_2 que pour les émissions de CO_2 par unité de production et constitue en quelque sorte un indicateur partiel d'éco-efficacité. Tous les résultats qui suivent portent sur les sources de croissance de ces deux variables.

Figure 2. Décomposition de la croissance des émissions de CO_2 pour les 16 branches émettrices les plus importantes, secteur canadien des entreprises (1990=100)



À la figure 2, on montre les tendances des émissions de CO_2 de 1990 à 1996 et les facteurs qui les sous-tendent pour l'ensemble des 16 branches d'activité retenues. Les émissions de CO_2 du secteur des entreprises ont augmenté au taux moyen de 1,2 % par année. Si la croissance économique avait été le seul facteur de l'évolution des émissions de CO_2, celles-ci auraient augmenté au taux annuel moyen de 2,8 % durant la période de référence. Cependant, l'effet de la croissance économique a été tempéré considérablement, avant tout par le fléchissement de l'intensité énergétique (-1,3 %), conjugué à une substitution entre les divers produits énergétiques (-0,6 %).

Comme le montre le tableau 1, la croissance annuelle moyenne des émissions de CO_2 varie considérablement selon la branche d'activité. Pour les industries agricoles et connexes l'effet de substitution et l'effet d'intensité énergétique renforcent tous deux l'effet de la croissance économique, si bien que cette branche d'activité a affiché un des taux annuels moyens de croissance des émissions de CO_2 les plus élevés de 1990 à 1996. Celui des industries du transport par pipelines a été encore plus élevé en dépit du fait que l'effet d'intensité carbonique ait été légèrement favorable à une baisse des émissions de CO_2. Les industries du commerce de gros sont une autre branche d'activité où le taux de croissance des émissions de CO_2 a été important (4,1 % en moyenne). Par contre, dans ce cas, l'effet de la croissance économique a été le seul moteur de la croissance des émissions de CO_2, tandis que l'effet d'intensité énergétique a été plus que compensé par l'effet de substitution et l'effet d'intensité carbonique.

Tableau 1. Parts, taux de croissance et contributions aux émissions de CO_2, taux de croissance de la production : 1990 à 1996

	Part moyenne du total des émissions de CO_2 de la branche d'activité	Taux de croissance annuel moyen des émissions de CO_2 (1)	Taux de croissance annuel moyen de la production réelle (2)	Taux de croissance annuel moyen des émissions de CO_2 par unité de production (1) *moins* (2)	Effet d'intensité carbonique	Effet de substitution	Effet d'intensité énergétique	Erreur résiduelle
	Pourcentage				Contribution en points à la croissance annuelle moyenne des émissions de CO_2 par unité de production			
Services agricoles et connexes	3,4	5,8	2,5	3,3	0,1	0,2	3,0	0,0
Exploitation minière	1,8	-1,0	0,0	-1,1	-0,1	0,3	-1,3	0,0
Pétrole brut et gaz naturel	8,5	1,6	5,5	-3,9	-0,9	-1,7	-1,3	0,0
Aliments	1,2	0,6	1,5	-0,9	-0,1	-1,0	0,3	-0,1
Papier et produits connexes	4,1	-1,4	2,4	-3,8	-0,1	-1,8	-1,9	0,0
Métaux de première transformation	5,9	0,6	3,7	-3,1	0,0	-1,4	-1,6	0,0
Produits minéraux non métalliques	1,9	-0,4	-0,8	0,4	-0,1	0,1	0,3	0,0
Produits raffinés du pétrole et du charbon	7,3	0,6	1,3	-0,7	3,7	0,3	-4,7	0,0
Produits chimiques	2,6	0,6	1,6	-1,1	-0,1	0,1	-1,0	0,0
Construction	2,1	-1,0	-2,2	1,2	0,4	0,2	0,7	-0,1
Transport	12,8	1,8	2,5	-0,7	0,3	-0,2	-0,8	0,0
Transport par pipeline	2,9	9,6	7,8	1,8	-0,1	0,2	1,7	0,0
Autres services publics	28,8	0,5	2,6	-2,1	0,1	-0,6	-1,6	0,0
Commerce de gros	2,6	4,1	4,4	-0,3	-0,2	-1,3	1,2	0,0
Commerce de détail	2,5	1,4	2,4	-1,1	-0,5	-0,1	-0,5	0,0
Intermédiaires financiers et services Immobiliers	3,3	1,6	4,6	-3,0	2,8	-1,0	-4,8	0,0
Secteur des entreprises	**100,0**	**1,2**	**2,8**	**-1,6**	**0,3**	**-0,6**	**-1,3**	**0,0**

Nota : Les données peuvent ne pas correspondre aux totaux en raison de l'arrondissement.

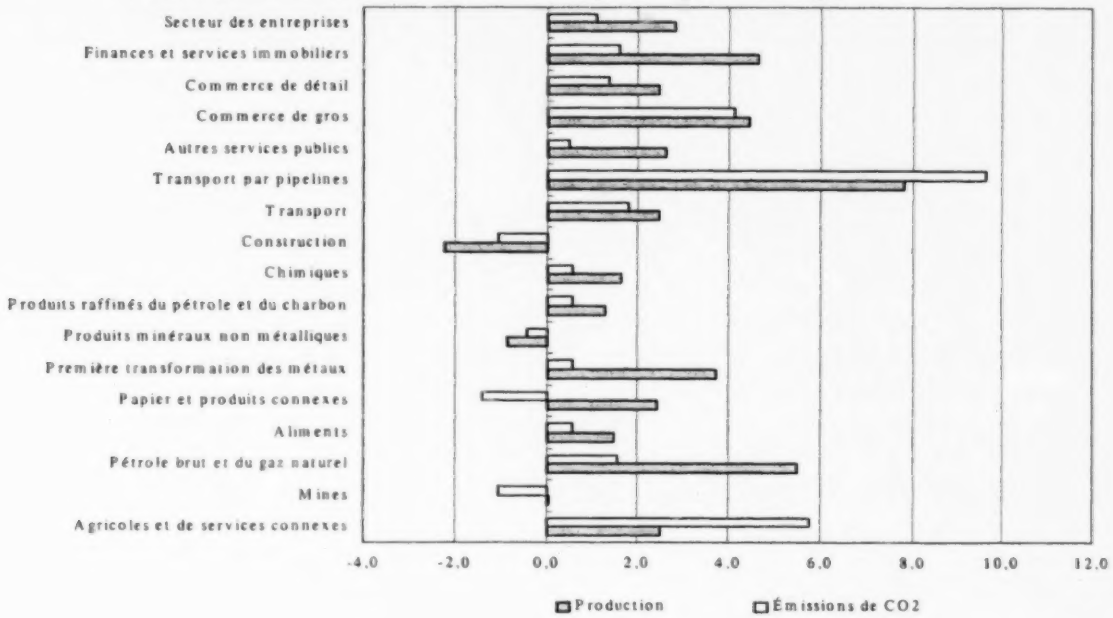
Les industries du transport et celles du pétrole brut et du gaz naturel, deux importantes branches productrices de CO_2, ont vu croître leurs émissions à taux annuels moyens respectifs de 1,8 % et 1,6 %. Cette croissance modérée est le résultat de contributions différentes des facteurs sous-jacents. Pour les industries du pétrole brut et du gaz naturel, la hausse de 5,5 points de pourcentage due à l'effet de la croissance économique a été réduite considérablement par la combinaison des autres facteurs (-3,9 points de pourcentage) parmi lesquels l'effet de substitution était le plus important. Pareillement, pour les industries du transport où les effets de substitution et d'intensité énergétique combinés ont réduit considérablement l'effet de la croissance économique.

Parmi les plus importantes branches émettrices de CO_2, celle des autres industries de services publics est celle qui a enregistré le taux de croissance le plus faible de ses émissions. Ce résultat tient à la contribution de -1,6 points de pourcentage de l'effet d'intensité énergétique, suivie d'une contribution de -0,6 points de pourcentage de l'effet de substitution (chiffre qui correspond à la moyenne pour le secteur des entreprises).

Les figures 3a à 3c, qui sont produites d'après les données du tableau 1, donnent une comparaison entre branches d'activité des sources de croissance des émissions de CO_2 par unité de production. La figure 3a met en évidence la différence entre le taux de croissance annuel moyen de la production et celui des émissions de CO_2 par branche d'activité de 1990 à 1996. La croissance des émissions de CO_2, qui doit être considérée comme une mesure partielle de la productivité, représente, lorsqu'elle est inférieure à la croissance de la production, une source importante de croissance de la productivité multifactorielle si l'on comptabilise les émissions de CO_2 en tant que production indésirable.

Durant la période à l'étude, les émissions de CO_2 par unité de production du secteur des entreprises dans son ensemble, ont diminué de 1,6 %. La majorité des branches d'activité de ce secteur ont enregistré un gain d'efficacité de ce genre, à part celles des industries du transport par pipeline et des industries agricoles. Les gains sont particulièrement frappants pour les plus gros producteurs de CO_2, atteignant -3,9 % pour les industries du pétrole brut et du gaz naturel, -2,1 % pour les industries des autres services publics et une valeur plus modeste, soit -0,7 %, pour les industries du transport. Ils tiennent principalement à deux facteurs dont les effets se renforcent mutuellement, à savoir une diminution de l'effet d'intensité énergétique (figure 3b) conjugué à celui de la substitution des produits énergétiques en faveur de ceux dont l'intensité carbonique est plus faible (figure 3c).

Figure 3a. Croissance des émissions de CO_2 et de la production par branche d'activité, 1990 à 1996 (taux de croissance annuel moyen en pourcentage)



La figure 3b montre la variation de l'intensité énergétique de la production selon la branche d'activité. Les branches des industries agricoles et du transport par pipeline, qui affichent le taux de croissance le plus élevé des émissions de CO_2 par unité de production, tel que l'indique la figure 3a (3,3 % et 1,8 %, respectivement), sont aussi celles qui enregistrent le taux le plus élevé d'intensité énergétique (3 % et 1,7 %, respectivement). En revanche, la majorité des autres branches d'activité ont vu baisser l'intensité énergétique de leur production. Il semble que les branches des industries agricoles et du transport par pipeline soient les seuls gros producteurs d'émissions de CO_2 qui n'ont pas bénéficié d'une technologie permettant d'économiser l'énergie.

La figure 3c, qui donne la variation de l'effet de substitution selon la branche d'activité, reflète dans une large mesure le profil observé pour l'intensité énergétique de la production (figure 3b). La majorité des branches d'activité ont affiché un mouvement marqué des types de produits énergétiques à forte intensité carbonique vers ceux dont l'intensité carbonique est plus faible. Les branches des industries agricoles et du transport par pipeline sont les exceptions les plus importantes. Selon la figure 3d, comparativement aux effets d'intensité énergétique et de substitution, le facteur d'intensité carbonique contribue moyennement à la réduction des émissions de CO_2 par unité de production dans les diverses branches d'activité.

Figure 3b. Contribution de l'effet d'intensité énergétique à la croissance annuelle moyenne des émissions de CO_2 par branche d'activité, 1990 à 1996 (points de pourcentage)

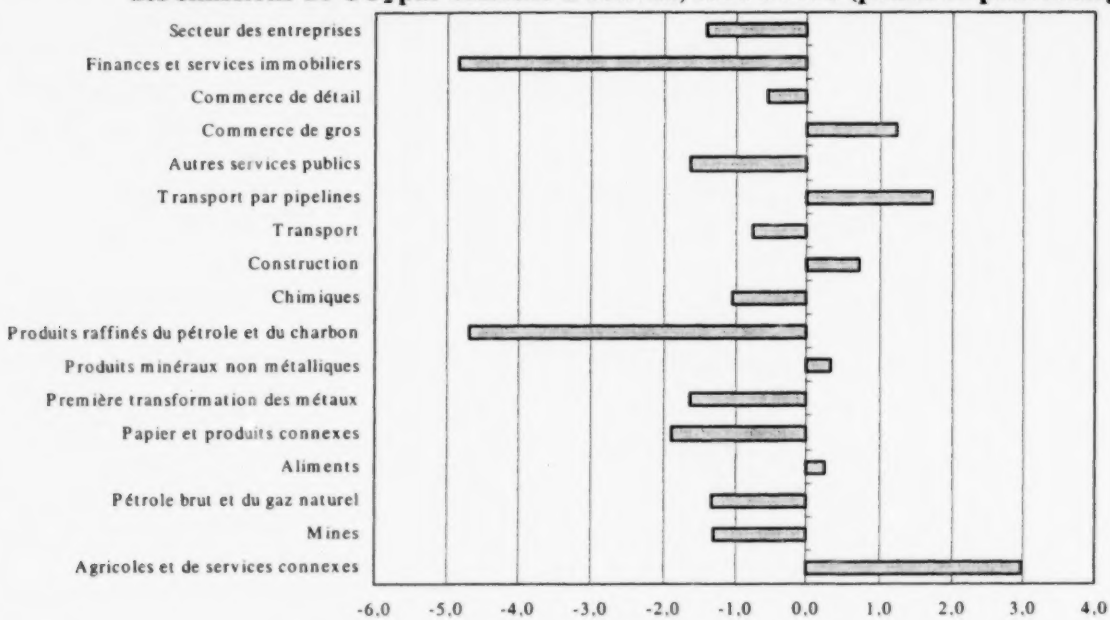


Figure 3c. Contribution de l'effet de substitution entre produits énergétiques à la croissance annuelle moyenne des émissions de CO_2 par branche d'activité, 1990 à 1996 (points de pourcentage)

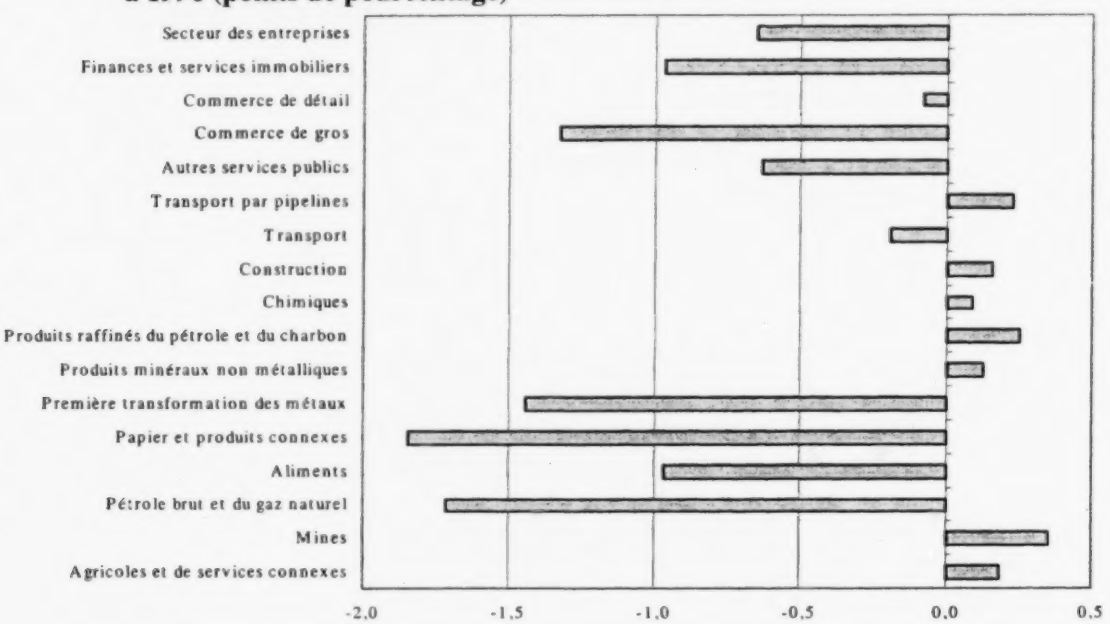
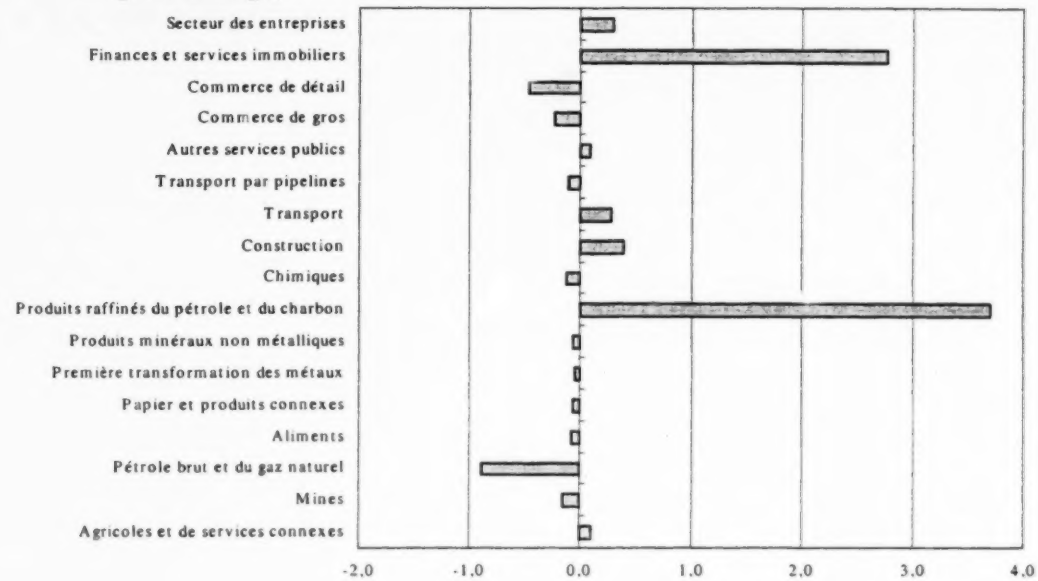


Figure 3d. Contribution de l'effet d'intensité carbonique à la croissance annuelle moyenne des émissions de CO_2 par branche d'activité, 1990 à 1996 (points de pourcentage)



V. Conclusion

Nous avons décomposé les variations observées des émissions de CO_2 par unité de production et précisé l'effet des variations de l'intensité énergétique de la production, l'effet de substitution entre diverses formes d'énergie et l'effet de l'intensité carbonique de chaque forme d'énergie. L'objectif est de mieux comprendre les tendances en jeu dans un pays dont la courbe des émissions de CO_2 par unité de production semble sur la pente descendante.

La contribution principale de la présente étude est de déterminer quantitativement quels facteurs ont été, de 1990 à 1996, suffisamment importants pour compenser l'effet de la croissance économique globale sur les émissions de CO_2. Nous dégageons certains résultats importants. Premièrement, la diminution de l'intensité énergétique contribue significativement à la réduction des émissions de CO_2 par unité de production. Ce résultat appuie l'hypothèse selon laquelle la hausse des prix relatifs de l'énergie a joué un rôle important dans la réduction de l'intensité énergétique par unité de production[4]. Deuxièmement, bien que l'effet de substitution ait contribué à la réduction du rapport entre les émissions de CO_2 et la production, son rôle a été plus modéré que celui de l'effet d'intensité énergétique. Troisièmement, la contribution de l'effet d'intensité carbonique, qui se chiffre à une hausse de 0,3 points de pourcentage, renforce l'effet de la croissance économique au lieu de la neutraliser comme le font les effets d'intensité énergétique et de substitution. Quatrièmement, la variation des émissions de CO_2 par unité de production selon la branche d'activité est due principalement à la variation de l'intensité énergétique.

[4] De 1990 à 1996, les prix relatifs de l'énergie ont augmenté de 0,9 % par année en moyenne.

Bibliographie

Beckerman W. 1992. 'Economic growth and the environment: whose growth? whose environment?' *World Development* 20, 481-496.

Commission mondiale sur l'environnement et le développement 1989 *Notre avenir à tous*, Montréal : Éditions du Fleuve.

Forrest, A.S. 1995. *A Turning Point?* In The Environmental Forum. Washington D.C.: Environmental Law Institute.

Harchaoui, T.M., D. Kabrelyan, et R. Smith. 2002. *Prise en compte des émissions de gaz à effet de serre dans le cadre conventionnel d'estimation de la productivité.* Série de documents de recherche sur l'analyse économique 11F0027MIF2002007. Direction des études analytiques. Ottawa : Statistique Canada.

IBRD, *Rapport sur le développement dans le monde 1992 : le développement et l'environnement* (New York, Oxford University Press, 1992).

Kuznets S. (1955) Economic growth and income inequality, *American Economic Review* 49, 1-28.

Meadows D. H., D. L. Meadows, J. Randers 1972. *Beyond the Limits: Global Collapse or a Sustainable Future.* Earthscan, London.

Meadows D. H., D. L. Meadows, J. Randers, et W. Behrens 1992. *The Limits to Growth.* Universe Books, New York.

Statistique Canada 1997. *Éconnexions pour lier l'environnement et l'économie, concepts, sources et méthodes du Système des comptes de l'environnement et des ressources du Canada* N° 16-505-GPF au catalogue.

ANALYSE ÉCONOMIQUE
DOCUMENTS DE RECHERCHE

No.001 *Une comparaison de la croissance économique au Canada et aux États-Unis à l'âge de l'information 1981-2000 : L'importance de l'investissement dans les technologies de l'information et des communications,* ***Philip Armstrong, Tarek M. Harchaoui, Chris Jackson et Faouzi Tarkhani (1 mars 2002)***

No.002 *Parité de pouvoir d'achat : Le cas du Canada et des États-Unis,* ***Beiling Yan (mai 2002)***

No.003 *L'importance accrue des producteurs plus petits dans le secteur de la fabrication : Comparison Canada/Etats-Unis,* ***John Baldwin, Ron S. Jarmin et Jianmin Tang (mai 2002)***

No.004 *Statistiques sur le commerce des sociétés affiliées à l'étranger – 1999 : La livraison des biens et des services sur les marchés internationaux,* ***Colleen Cardillo (avril 2002)***

No.005 *Volatilité de l'emploi au niveau régional dans le secteur canadien de la fabrication : Les effets de la spécialisation et du commerce,* ***John Baldwin, W.Mark Brown (11 avril 2003)***

No.006 *Antécédents de croissance, degré de concentration des connaissances et structure financière des petites entreprises,* ***Guy Gellatly, S.Thornhill, A.Riding (06 août 2003)***

No.007 *Prise en compte des émissions de gaz à effet de serre dans le cadre conventionnel d'estimation de la productivité,* ***Tarek M. Harchaoui, Dmitry Kabrelyan, Rob Smith (le 1 novembre 2002)***

No.008 *Vaincre les distances, vaincre les frontières : comparaison des échanges régionaux en Amérique du Nord,* ***W.Mark Brown (16 avril 2003)***

No.009 *L'impact des émissions de gaz à effet de serre sur la croissance de la productivité au Canada, 1981-1996 : une approche expérimentale,* ***Tarek M. Harchaoui et Pierre Lasserre (le 1 novembre 2002)***

No.010 *Une approche frontière de la productivité multifactorielle au Canada et aux Etats-Unis,* ***Kais Dachraoui, Tarek M. Harchaoui (le 3 avril 2003)***

No.011 *Participation aux marchés d'exportation et productivité du secteur canadien de la fabrication,* ***John R.Baldwin, Wulong Gu (le 13 août)***

No.012 *Effet de l'utilisation des technologies de pointe sur le rendement des entreprises du secteur canadien de la transformation des aliments,* ***John R.Baldwin, David Sabourin et David Smith (le 3 juin 2003)***

No.013 *Statistiques sur le commerce des sociétés affiliées à l'étranger – Opération canadiennes à l'étranger 1999 à 2001,* ***Division de la balance des paiements, par Michael Marth (mai 2003)***

No.014 *Effect de la réduction des tarifs sur la taille et sur le roulement des entreprises dans le secteur canadien de la fabrication,* ***Wulong Gu, G.Sawchuk, L.Whewell (le 19 août)***

No.015 *Les sources de la croissance des émissions de CO2 du secteur canadien des entreprises, 1990 à 1996,* ***par Kaïs Dachraoui, Gerry Gravel, Tarek M. Harchaoui et Joe St. Lawrence (septembre 2003)***

No.016 *Répercussions du travail autonome sur la croissance de la productivité du travail: Comparison Canada-États-Unis,* ***John R. Baldwin, James Chowhan (le 21 août 2003)***